



#4

## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen:

100 51 415.4

**CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT**

Anmeldetag:

17. Oktober 2000

Anmelder/Inhaber:

A.R.T. GmbH, Herrsching/DE

Bezeichnung:

Optisches Trackingsystem und -verfahren

IPC:

H 04 N, G 01 B, G 06 T

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der  
ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

**CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT**

München, den 8. November 2001  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Waasmaier

### Optisches Trackingsystem und -verfahren

Die Erfindung betrifft ein optisches Trackingsystem zur Positions- und/oder Orientierungsbestimmung eines mit wenigstens einem Marker ausgestatteten Objektes mit mindestens zwei Bildaufnehmern zur bildlichen Erfassung des wenigstens einen Markers und mit mindestens einer Recheneinheit zur Auswertung der von den Bildaufnehmern erfassten Bilder zur Berechnung der Position und/oder der Orientierung des Objektes. Die Erfindung betrifft weiterhin ein entsprechendes Trackingverfahren, ein Computerprogramm, um das Verfahren auf einem Computer zu implementieren sowie ein dieses Programm aufweisendes Computerprogramm-Produkt.

Ein gattungsgemäßes Trackingsystem und -verfahren ist aus der DE-19806646 C1 zur Bestimmung der Position und Orientierung einer Aufnahmekamera bekannt. Um beispielsweise eine aufgenommene Person präzise und lagegetreu in einen virtuell erstellten Hintergrund integrieren zu können, muss die jeweils bestehende Position und Orientierung der Aufnahmekamera bekannt sein. Es wird dort ein Trackingsystem vorgeschlagen mit mindestens zwei an der Kamera anzubringenden Lichtquellen, mindestens zwei Erfassungskameras zur bildlichen Erfassung der Lichtquellen und mit einer Recheneinheit zur Auswertung dieser Bilder. Bei einer optimalen Anzahl von Lichtquellen und Erfassungskameras können mit hinreichender Genauigkeit Position (dreidimensionaler Ort) sowie die Orientierung (Roll-, Nick- und Schwenkwinkel) der Kamera bestimmt werden. Vorteilhafterweise handelt es sich

um Lichtquellen im Infrarotbereich, um diese von den anderen in einem Studio vorhandenen Lichtquellen zu entkoppeln. Als Erfassungskameras werden handelsübliche CCD-Kameras vorgeschlagen. Die Berechnung von Position und Orientierung der Aufnahmekamera erfolgt in einer Datenverarbeitungsanlage mittels trigonometrischer Berechnungen.

Aus der WO99/52094 ist ein Trackingsystem bekannt, bei dem von lichtemittierenden Dioden in bestimmten Zeitfenstern abgegebene Infrarotblitze zeitaufgelöst von einer synchronisierten Kamera empfangen werden.

Weiterhin ist in der WO99/30182 ein Trackingsystem beschrieben, bei dem die mindestens drei Marker eines Objektes, die miteinander in einer vorbestimmten geometrischen Beziehung angeordnet sind, beispielsweise anhand von an diesen Markern reflektierten Strahlen erfasst werden, woraus sich durch Vergleich mit gespeicherten Markeranordnungen die Position und Orientierung der Objekte berechnen lassen.

Aus der WO99/17133 ist die Verwendung von aktiven (energieemittierenden) und passiven (energiereflektierenden) Targets zur Verfolgung eines mit solchen Targets ausgestatteten Objektes bekannt.

Bei vorliegender Erfindung wird ein mit mindestens einem Marker ausgestattetes beliebiges Objekt gleichzeitig von mindestens zwei Trackingkameras oder Bildaufnehmer beobachtet, deren Position und Orientierung im Raum bekannt ist, so dass aus den Bildern, die diese Kameras liefern, mit Hilfe trigonometrischer Methoden der Ort des Markers und damit des Objektes im Raum bestimmt werden kann. Hierzu werden für einen Marker Sehstrahlen konstruiert, die vom Ort jeder Trackingkamera ausgehen und deren Schnittpunkt im

Raum den dreidimensionalen Ort des Markers angibt. Bei Verwendung mehrerer Marker pro Objekt kann neben der dreidimensionalen Position auch die Orientierung des Objekts im Raum, d. h. eine „6D-Position“, berechnet werden. Die Orientierung eines Objekts wird durch die relative Drehung des Objekts im Raum sowie die Drehung um sich selbst bestimmt.

Bei den bekannten und oben beschriebenen Trackingsystemen wird meist der gesamte von einem Bildaufnehmer (Trackingkamera) aufgenommene Bildbereich ausgelesen, digitalisiert und nach Markern durchsucht. Die Positionen der gefundenen Marker werden anschließend in zwei Dimensionen (in den Bildkoordinaten) exakt berechnet. Diese Daten werden an einen zentralen Rechner oder eine zentrale Rechenprozedur weitergegeben, wo die von mehreren Bildaufnehmern zu einem Zeitpunkt aufgenommenen Daten gesammelt werden. Hierauf bauen die weiteren Rechnungen auf, die die Position und/oder Orientierung der zu trackenden Objekte zum Ergebnis haben.

Diese Trennung der einzelnen Arbeitsschritte weist mehrere Nachteile auf. So erfolgt beispielsweise das Auslesen des Bildaufnehmers in Bildbereichen, in denen sich keine Marker befinden, auf dieselbe Weise, wie in den eigentlich interessierenden Bildbereichen, in denen Marker vorhanden sind. Das Auslesen des Bildaufnehmers ist jedoch eine der wesentlichen Zeitrestriktionen für derartige Präzisions-Trackingsysteme, da die Pixelinformationen sequentiell zu einem A/D-Wandler geführt werden, und da sich andererseits im allgemeinen eine Erhöhung der Auslesefrequenz negativ auf die erreichbare Genauigkeit auswirkt.

Aufgabe vorliegender Erfindung ist daher, die oben genannten Nachteile von zeit- und speicherintensiven Trackingsystemen zu vermeiden und bei unverminderter oder erhöhter

Tracking-Genauigkeit wesentliche Zeitgewinne zu erzielen. Insbesondere soll beim Einsatz reflektierender Marker eine erhöhte Genauigkeit bei der Bestimmung der Markerpositionen im Bild im Vergleich zu den bekannten Systemen erzielt werden.

Diese Aufgabe wird durch die Merkmale eines optischen Trackingsystems gemäß Anspruch 1 sowie durch ein Verfahren zur Positions- und/oder Orientierungsbestimmung gemäß Anspruch 13 und ein entsprechendes Computerprogramm oder Computerprogramm-Produkt gemäß Anspruch 23 bzw. 24 gelöst. Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den jeweiligen Unteransprüchen sowie der nachfolgenden Beschreibung.

Beim erfindungsgemäßen Trackingsystem ist mindestens eine Recheneinheit zur Auswertung der von den Bildaufnehmern erfassten Bilder sowie Mittel vorgesehen, um von einer solchen Recheneinheit errechnete Informationen zurück zu einer anderen Recheneinheit und/oder zurück zum Bildaufnehmer zu übermitteln. Hierdurch wird eine bidirektionale Datenübertragung möglich, die im Vergleich zur bisherigen unidirektionalen Datenübertragung wesentliche Vorteile bringt. Die rückübertragenen Informationen werden zur Steuerung der Bildaufnahme und/oder der Bildauswertung verwendet. Hierdurch können beispielsweise Informationen über Ort, Größe und Helligkeit der interessierenden Marker dazu genutzt werden, die Bildaufnahme zu optimieren, sowie die für den Auslesevorgang interessierende und nicht interessierende Bildbereiche unterschiedlich zu behandeln. Weiterhin können Informationen über Position oder Orientierung des Objektes zur Extrapolation auf zu erwartende Positionen oder Orientierungen genutzt werden und die Bildaufnahme sowie -auswertung daraufhin ausgerichtet werden.

Durch die Erfindung werden die Nachteile der Trennung der einzelnen Rechenschritte in Richtung von Bildaufnahme zu der Tracking-Ergebnisausgabe überwunden, indem Informationen insbesondere von dem Ort, an dem erste Tracking-Ergebnisse zur Verfügung stehen, an die Orte, an denen die Bildaufnahme und die ersten Schritte der Bildverarbeitung vorgenommen werden (im allgemeinen die Bildaufnehmer und die die Markerpositionen im Bild bestimmenden Rechenstufen), rückgeführt werden.

Häufig sind die Rechenstufen zur Bildauswertung nicht nur logisch, sondern auch physikalisch in eine 2D-Rechenstufe und eine nachgeschaltete zentrale 3D-/6D-Rechenstufe getrennt. In der 2D-Rechenstufe werden die Markerpositionen in den Bildkoordinaten des Bildaufnehmers berechnet, so dass häufig jedem Bildaufnehmer eine solche Rechenstufe unmittelbar zugeordnet ist. Aus den ermittelten Daten werden dann in einer zentralen Recheneinheit die dreidimensionalen Positions- oder sechsdimensionalen Positions- und Orientierungsdaten berechnet. Bei einer solchen Anordnung ist es vorteilhaft, Informationen von der zentralen Recheneinheit an die einem Bildaufnehmer zugeordnete Recheneinheit und gegebenenfalls auch an den Bildaufnehmer selbst zurückzuleiten. Hierdurch können Parameter zur Bildaufnahme beim Bildaufnehmer selbst gesteuert und optimal eingestellt werden sowie die nachfolgende Bildverarbeitung in der 2D-Rechenstufe optimiert werden, wobei die Optimierung in Abhängigkeit von der errechneten Position und/oder Orientierung des Objekts folgen kann.

Generell kann es sich bei der rückgeführten Information um aktuelle Trackingdaten handeln, die für die unmittelbare Vergangenheit ermittelt wurden, und die Rückschlüsse auf den aktuellen Zeitpunkt zulassen. Es kann sich weiterhin um von außen in das System eingebrachte aktuelle Daten han-

deln, die für das Tracking relevant sind. Schließlich kann es sich auch um a-priori-Informationen bezüglich der Ausgangssituation handeln. Werden aktuelle Trackingdaten rückgeführt, so entsteht ein geschlossener Regelkreis, der in zahlreichen Situationen Verbesserungspotential gegenüber der bisherigen Arbeitsweise mit unidirektionalem Informationsfluss bietet.

Sowohl beim Auslesevorgang des Bildaufnehmers als auch bei der Erkennung von Markern und der Berechnung ihrer zweidimensionalen Positionen kann durch die Rückführung von Informationen wertvolle Rechenzeit gespart und die Genauigkeit erhöht werden.

Es ist auch denkbar, zu diesem Zweck die 2D-Rechenstufen, also die den einzelnen Bildaufnehmern zugeordneten Recheneinheiten, zum Zuführen von Informationen oder zum Weiterleiten von Informationen von der zentralen Recheneinheit miteinander zu verbinden.

Es ist vorteilhaft, eine Prädiktionseinheit in die Informationsrückführung einzubauen, durch die Daten der unmittelbar vergangenen Bildaufnahmen auf die in der aktuellen Bildaufnahme zu erwartenden Daten extrapoliert werden. Hierdurch lassen sich beispielsweise zu erwartende Markerpositionen im zweidimensionalen Bild berechnen und die folgende Bildverarbeitung auf den Bereich beschränken, in dem Marker zu erwarten sind. In den Bereichen, in denen keine Marker erwartet werden, können das Auslesen des Bildaufnehmers und die Markererkennung und Positionsbestimmung entweder ganz entfallen oder mit geringerer Genauigkeit oder nur in gewissen Zeitabständen durchgeführt werden. Dies erhöht die Verarbeitungsgeschwindigkeit und spart Speicherplatz.

Rückzuführende Informationen können auch die aktuellen oder zu erwartenden Markergrößen sein. Unspezifische Reflexe können dann allein aufgrund einer Größeninformation ausgeblendet werden. Die Rechenzeit für die aufwendige Positionsbestimmung solcher Reflexe entfällt und kann für eine Verbesserung der Berechnung bei den interessierenden Markern eingesetzt werden.

Auch Informationen über das aktuelle oder zu erwartende Auftreten von Artefakten (häufig aufgrund sich gegenseitig teilweise verdeckender Marker) können rückgeführt werden. Dadurch kann die Berechnung der Markerpositionen im zweidimensionalen Bild bereits mit an diese Situation angepassten Algorithmen erfolgen. Die Sicherheit, Schnelligkeit und Genauigkeit der Positionsberechnung für Marker, die von Artefakten betroffen sind, steigt hierdurch.

Es ist von Vorteil für die Datenübertragung in beide Richtungen, d. h. von der Bildaufnahme zur Bildverarbeitung und Trackingberechnung und umgekehrt, physikalisch denselben Informationskanal zu benutzen. Die Informationsübertragung kann dann durch Verwendung getrennter Frequenz- oder Zeitfenster erfolgen. Geeignet ist eine Informationsübertragung über Ethernet-Verbindungen.

Eine besonders günstige Anwendungsmöglichkeit ergibt sich durch die Erfindung für Trackingsysteme, die mit passiven Markern arbeiten, d. h. solchen Markern, die elektromagnetische Strahlung im sichtbaren oder Infrarotbereich reflektieren. Bei solchen Systemen wird mindestens eine Beleuchtungseinheit zur Bestrahlung der Marker eingesetzt, die einem der Bildaufnehmer zugeordnet ist. Retroreflektoren als Marker besitzen den Vorteil, den Hauptteil des einfallenden Lichts in Einfallsrichtung zurückzereflektieren.



Bei den meisten Anwendungen optischer Trackingsysteme muss ein weiter Entfernungsbereich zwischen Bildaufnehmer (Kamera) und Objekt (Target) überdeckt werden. Das System muss folglich bei geringen Abständen genauso wie bei großen Abständen zwischen Kamera und Target Ergebnisse ausreichender Genauigkeit liefern. Die für optische Trackingsysteme gängigen Bildaufnehmer (CCD-Chips) haben jedoch einen nach unten und oben begrenzten Aussteuerbereich, d. h., ein Signal kann unterhalb einer unteren Intensitätsgrenze des einfallenden Signals nicht mehr ausreichend vom Hintergrund separiert werden, und oberhalb einer oberen Intensitätsgrenze treten Übersteuerungseffekte auf. Hierdurch wird die Genauigkeit der Positionsbestimmung verschlechtert. Für optische Trackingsysteme mit passiven (retroreflektierenden) Markern und einer nicht variablen Beleuchtungsintensität ist der zu überdeckende Entfernungsbereich zwischen Kamera und Target in vielen Anwendungsfällen so groß, dass im Normalbetrieb beide Grenzen des Aussteuerbereichs unter- bzw. überschritten werden.

Zwei Lösungen für dieses Problem liegen nahe, ohne jedoch das Problem zufriedenstellend zu lösen: Das Arbeiten mit automatischer Blende und die Steuerung der Beleuchtungsintensität nach Art eines Computerblitzes. Beide Lösungen sind jedoch nicht praktikabel. Für Kameras mit automatischer Blende kann die nötige Genauigkeit der Abbildungskorrektur nicht mehr garantiert werden. Der Einsatz eines „Computerblitzes“, der die eingehende Lichtenergie aufsummiert und bei Erreichen eines Grenzwertes die Beleuchtung stoppt, wird in sehr vielen Fällen aufgrund unspezifischer Reflexe (spiegelnde Oberflächen) oder externer Störquellen (z. B. Scheinwerfer) unbrauchbare Ergebnisse liefern. Auch eine in der Praxis typische Situation, die Ausleuchtung von z. B. zweier Targets, von denen sich eines nahe der Trackingkamera (Bildaufnehmer) und eines weit davon entfernt befindet,

kann durch diese Art von Computerblitz nicht hinreichend gemeistert werden.

Die erfindungsgemäße Datenrückführung ermöglicht die Lösung dieses Problems. Die Trackingkameras (Bildaufnehmer) erhalten von einer Recheneinheit (zentrale Recheneinheit) Informationen über den momentanen Abstand der Marker zu den einzelnen Bildaufnehmern und über die Art der Marker. Die Beleuchtungsstärke kann dann für jeden einzelnen Bildaufnehmer auf die Erfordernisse eingestellt werden. Dadurch ist sichergestellt, dass innerhalb des Aussteuerbereichs des Bildaufnehmers gearbeitet wird.

Die Information, welche Beleuchtungsstärke für welchen Abstand und für welchen Markertyp nötig ist, kann einer vorgegebenen Look-up-Tabelle entnommen werden, die das Ergebnis von vorhergehenden Laborexperimenten ist.

Eine andere Ausführungsmöglichkeit besteht darin, die nötige Beleuchtungsstärke nicht oder nicht ausschließlich einer vorgegebenen Tabelle zu entnehmen, sondern wie folgt zu regeln: Als Ergebnis der Rechnungen zu einem aufgenommenen Bild liegen in der Trackingkamera (Bildaufnehmer) oder der nachgeschalteten zugehörigen Recheneinheit (2D-Rechenstufe) bereits Informationen über die Helligkeit der einzelnen Marker vor. Es ist dann möglich, die Beleuchtungsstärke von Bild zu Bild so nachzuregeln, dass die maximale Helligkeit (hellstes Pixel) der interessierenden Marker in der Nähe eines vorgegebenen Wertes bleibt. Dieser Wert beträgt beispielsweise 80 Prozent der Maximalaussteuerung. Erfindungsgemäß werden hierzu Informationen über die aktuellen oder erwarteten Orte der interessierenden Marker zusammen mit Informationen über die Helligkeiten dieser Marker an die Beleuchtungssteuerung zurückgeführt. Hierzu werden beispielsweise die Daten über die zu erwartenden Markerorte

von der zentralen Recheneinheit, die Informationen über die Markerhelligkeiten auf kürzerem Weg direkt von der Bildaufnahmeinheit oder der nachgeschalteten ersten (2D-) Rechenstufe an die Beleuchtungssteuerung weitergegeben.

Neben der Steuerung der Beleuchtungsstärke kann auch eine Steuerung der räumlichen Lichtverteilung im Bildbereich der Bildaufnehmer erfolgen. Hierzu wird eine Beleuchtungseinheit mit einem in mehrere Segmente unterteilten Licht emittierenden Bereich verwendet, wobei die einzelnen Segmente separat ansteuerbar sind. Die einzelnen Segmente leuchten verschiedene Bildbereiche des Bildaufnehmers aus, so dass durch die erfindungsgemäße Rückführung von Informationen über den Ort der interessierenden Marker an die Steuereinheit der Beleuchtungseinheit durch entsprechende Ansteuerung der Segmente nur die interessierenden Bildbereiche ausgeleuchtet werden können. Zusätzlich kann durch diffraktive oder refraktive optische Elemente die Strahlungsrichtung gesteuert werden, da Trackingkameras üblicherweise mit nahezu monochromatischem Licht arbeiten. Als refraktive Elemente sind z. B. an die Geometrie der Beleuchtungseinheit angepasste Fresnel-Prismenscheiben geeignet.

Die gesamte erfindungsgemäße Informationsrückführung, die Berechnung der jeweils zurückgeführten Information, die Steuerung und Regelung der einzelnen Komponenten, wie Bildaufnehmer, Recheneinheiten und Steuereinheiten, anhand der rückgeführten Informationen kann vorteilhafterweise mittels eines Computerprogramms erfolgen, das in einer eigens dafür vorgesehenen Recheneinheit oder in der bereits erwähnten zentralen Recheneinheit zur Bestimmung von Ort und/oder Position der Objekte ausgeführt wird. Ein entsprechendes Computerprogramm-Produkt enthält das Computerprogramm auf einem geeigneten Datenträger, wie EEPROMs, Flash-Memories, CD-ROMs, Disketten oder Festplattenlaufwerken.

Im folgenden soll die Erfindung und ihre Vorteile anhand von in den beigefügten Figuren schematisch dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert werden.

Figur 1 zeigt in schematischer Form eine Ausführungsform des Datenflussschemas eines erfindungsgemäßen optischen Trackingsystems.

Figur 2 zeigt in schematischer Form das Datenflussschema einer Ausgestaltung eines erfindungsgemäßen Trackingsystems, das mit einer Beleuchtungseinheit für passive Marker arbeitet.

Figur 1 zeigt ein allgemeines Datenflussschema für die erfindungsgemäße Informationsrückführung. Das Trackingsystem besteht aus mehreren Bildaufnehmern 1, den Bildaufnehmern zugeordneten Recheneinheiten 2 für die zweidimensionale Positionsbestimmung von Markern im aufgenommenen Bild und einer zentralen Recheneinheit 3, in der die Markerpositionsdaten der einzelnen Bildaufnehmer 1 gesammelt und für die Berechnung der Positions- und/oder Orientierungsdaten des Objektes genutzt werden. Es sei darauf hingewiesen, dass die in Figur 1 dargestellten Komponenten den Datenfluss repräsentieren, was sich in einer logischen Trennung der verschiedenen Verarbeitungsstufen äußert, und dass diese logische Trennung nicht notwendigerweise mit einer physikalischen Trennung einhergeht. Es ist folglich in der Praxis möglich, z. B. jeweils die Einheiten Bildaufnehmer 1 und 2D-Recheneinheit 2 oder die Einheiten 2D-Recheneinheit 2 und 3D/6D-Recheneinheit 3 oder aber alle drei Einheiten in einem Gerät zusammenzufassen. Die zentrale Rechenstufe 3 liefert die Trackingergebnisse meist an eine weitere nicht dargestellte Recheneinheit zur Weiterverarbeitung der Ergebnisse oder an ein nicht dargestelltes Speichermedium.

Erfindungsgemäß werden in diesem Ausführungsbeispiel von der zentralen Recheneinheit 3 nutzbare Daten zu den vorhergehenden Verarbeitungsstufen, nämlich in diesem Fall zum Bildaufnehmer 1 sowie der diesem zugeordneten Recheneinheit 2, zurückgeführt. Der Informationsrückführungskanal ist mit 6 bezeichnet. Physikalisch können die Informationsrückführungskanäle dasselbe Datenübertragungsmedium nutzen wie dasjenige zur Übermittlung der Daten von Bildaufnehmern zu zugeordneten Recheneinheiten 2 weiter zur zentralen Recheneinheit 3. Zur besseren Veranschaulichung sind im Datenflussschema gemäß Figur 1 die Datenkanäle gesondert eingezeichnet.

In diesem Ausführungsbeispiel umfassen die Mittel zur Informationsrückführung auch eine Prädiktionsstufe 5, die aus den Ergebnisdaten der unmittelbaren Vergangenheit Erwartungswerte für das aktuell zu erfassende Bild berechnet. Die gewonnenen Daten werden dann an die Bildaufnehmer 1 und die zugeordnete Recheneinheiten 2 geleitet. Durch die Prädiktion wird der Wert der rückgeführten Daten weiter erhöht.

Ein mit Markern 4 gekennzeichnetes Objekt wird während seiner Bewegung im Raum von den Bildaufnehmern 1, die CCD-Kameras darstellen, erfasst. Die einzelnen Bilder werden in einer nachgeschalteten Recheneinheit 2 (2D-Rechenstufe) dahingehend ausgewertet, dass die Position der Marker 4 im Bild bestimmt wird. Da Ort und Orientierung der Bildaufnehmer 1 bekannt ist, kann aus den Positionsdaten der Marker 4 in den aufgenommenen Bildern die Position, d. h. der dreidimensionale Ort, des Objektes in einer zentralen Recheneinheit 3 durch entsprechende trigonometrische Algorithmen bestimmt werden. Bei Verwendung von mehr als zwei Markern 4 können zusätzlich noch Informationen über die Orientierung des Objektes gewonnen werden. Die Trackingergebnisse werden

je nach Art der Anwendung in einer weiteren Recheneinheit beispielsweise zur Produktion von virtuellen Filmsequenzen weiterverwendet.

In einer Prädiktionseinheit 5, die physikalisch Bestandteil der zentralen Recheneinheit 3 sein kann, werden aus den Trackingergebnissen eines vorgegebenen Zeitraums Erwartungswerte für die jeweils zu erfassenden Bilder berechnet. Als Erwartungswerte können zu erwartende Markerorte, zu erwartende Markergrößen und/oder zu erwartende Artefakte berechnet werden. Dies macht es möglich, nur interessierende Bildausschnitte, in denen Marker zu erwarten sind, auszulesen, unspezifische Reflexe auszublenden oder ein gegenseitiges Verdecken von Markern vorherzusagen. Dies erlaubt, die Genauigkeit und Schnelligkeit bei der Bildauswertung zu erhöhen. Hierzu werden erfindungsgemäß die entsprechenden Informationen von der Prädiktionseinheit 5 direkt zum Bildaufnehmer 1 und/oder zur jeweiligen dem Bildaufnehmer 1 zugeordneten Recheneinheit 2 zugeführt.

Eine besonders geeignete Nutzung der erfindungsgemäßen Informationsrückführung ist in Form eines Datenflussschemas in Figur 2 dargestellt. Gleiche Komponenten sind mit gleichen Bezugszeichen bezeichnet. Dem Bildaufnehmer 1 ist hier eine Beleuchtungseinheit zugeordnet, die eine Steuereinheit 8 mit Treiberstufe, eine in mehrere Segmente unterteilte Lichtemissionseinheit 9 sowie eine Strahlablenkungseinrichtung 10 aufweist. Das von den Segmenten der Lichtemissionseinheit 9 emittierte Licht wird mittels diffraktiver oder refraktiver Elemente der Strahlablenkungseinrichtung 10 in verschiedene Raumrichtungen verteilt. Mit einer solchen Beleuchtungseinheit ist es möglich, die Marker 4 derart zu beleuchten, dass diese mit optimaler Helligkeit vom Bildaufnehmer 1 abgebildet werden. Hierzu werden erfindungsgemäß Daten nicht nur an den Bildaufnehmer 1 und die diesem

zugeordnete Rechenstufe 2 sondern auch an die Steuereinheit 8 der Beleuchtungseinheit rückgeführt.

Ausgewählte Daten wie Helligkeitsinformationen aus den ersten Verarbeitungsstufen, dem Bildaufnehmer 1 und der zugeordneten Recheneinheit 2, werden kurzfristig in einem Speicher 7 zwischengespeichert und dann ebenfalls an die Steuereinheit 8 der Beleuchtungseinheit weitergegeben. Anhand der rückgeführten Daten, beispielsweise zu erwartende Markerpositionen (vergleiche Figur 1) und Markerhelligkeiten, kann die Treiberstufe der Steuereinheit 8 die einzelnen Segmente der Lichtemissionseinheit 9 mit wählbarer Lichtleistung ansteuern. Durch die nachgeschaltete Strahlableitungseinrichtung 10 kann dann jedes Segment der Beleuchtungseinheit einen anderen Teil des Bildfeldes des zugehörigen Bildaufnehmers 1 ausleuchten. Dadurch kann die räumliche Verteilung der Ausleuchtung von Bild zu Bild optimal geregelt werden.

Es ist auch möglich, lediglich die Information über die Entfernungen der Marker 4 zur Steuereinheit 8 der Beleuchtungseinheit zu leiten und abhängig vom Abstand und von der Art der Marker 4 die Beleuchtungsleistung und -verteilung zu steuern. Die hierzu notwendigen Ansteuerwerte können einer Look-up-Tabelle entnommen werden, die durch vorhergehende Laborexperimente aufgestellt worden ist.

Bei der erfindungsgemäßen Ausgestaltung der Beleuchtungsregelung für passive Marker ist es vorteilhaft, die Beleuchtungsstärke jeweils so zu steuern, dass die Helligkeit der abgebildeten Marker innerhalb des Aussteuerbereichs des Bildaufnehmers 1, beispielsweise bei einem Wert von 80 Prozent der oberen Aussteuergrenze liegt.

Die erfindungsgemäße Rückführung von relevanten Informationen bei einem Trackingsystem erhöht die Präzision und die Geschwindigkeit bei der Auswertung der anfallenden Daten.



A.R.T. GmbH, Herrsching

418 001 A  
06.10.2000

### Ansprüche

1. Optisches Trackingsystem zur Positions- und/oder Orientierungsbestimmung eines mit wenigstens einem Marker (4) ausgestatteten Objektes unter Verwendung mindestens zweier Bildaufnehmer (1) zur bildlichen Erfassung des wenigstens einen Markers (4) und mindestens einer nachgeschalteten Recheneinheit (2,3) zur Auswertung der von den Bildaufnehmern (1) erfassten Bilder zur Berechnung der Position und/oder der Orientierung des Objektes, **dadurch gekennzeichnet**, dass Mittel zur Zurückführung von in einer Recheneinheit (2,3) errechneten Informationen zu einer anderen Recheneinheit (2) und/oder zu einem Bildaufnehmer (1) vorgesehen sind.

2. Optisches Trackingsystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass den Bildaufnehmern (1) zugeordnete Recheneinheiten (2) zur Bestimmung der Markerpositionen im erfassten Bild vorgesehen sind, und dass eine zentrale Recheneinheit (3) zur Bestimmung der Position und/oder der Orientierung des Objektes vorgesehen ist, die mit den einzelnen Recheneinheiten (2) zur Übertragung der Bilddaten an die zentrale Recheneinheit (3) in Verbindung steht.

3. Optisches Trackingsystem nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel zur Zurückführung von errechneten Informationen Mittel zur Rückführung von in der zentralen Recheneinheit (3) errechneten Informationen zu einer einem Bildaufnehmer (1) zugeordneten Recheneinheit (2) und/oder zu einem Bildaufnehmer (1) umfassen.

4. Optisches Trackingsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel zur Zurückführung von errechneten Informationen eine Prädiktionseinheit (5) umfassen, die aus den errechneten Tracking-Ergebnissen eine zu erwartende Positions- und/oder Orientierungsangabe für das Objekt errechnet.

5. Optisches Trackingsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel zur Zurückführung von errechneten Informationen die Datenübertragungsmittel zur Datenübertragung von einem Bildaufnehmer (1) zu der mindestens einen nachgeschalteten Recheneinheit (2,3) umfassen.

6. Optisches Trackingsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Informationsübertragung über Ethernet-Verbindungen erfolgt.

7. Optisches Trackingsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 6 mit mindestens einer einem Bildaufnehmer (1) zugeordneten Beleuchtungseinheit (8,9,10) zur Beleuchtung von reflektierenden Markern (4), dadurch gekennzeichnet, dass Mittel zur Zuführung von in einer Recheneinheit (2,3) errechneten Informationen zur Beleuchtungseinheit (8,9,10) vorgesehen sind.

8. Optisches Trackingsystem nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel zur Zuführung von Informationen zur Beleuchtungseinheit (8,9,10) einen Speicher (7) umfassen.

9. Optisches Trackingsystem nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel zur Zuführung von Informationen zur Beleuchtungseinheit (8,9,10) eine Look-up-Tabelle umfassen.

10. Optisches Trackingsystem nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Beleuchtungseinheit (8,9,10) eine in mehrere Segmente aufgeteilte Lichtemissionseinheit (9) aufweist, die getrennt von einer Steuereinheit (8) ansteuerbar sind.

11. Optisches Trackingsystem nach einem der Ansprüche 7 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Beleuchtungseinheit (8,9,10) eine Strahlablenkungseinrichtung (10), insbesondere bestehend aus diffraktiven oder refraktiven Elementen, aufweist.

12. Optisches Trackingsystem nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass Fresnel-Prismenscheiben die refraktiven Elemente darstellen.

13. Verfahren zur Positions- und/oder Orientierungsbestimmung eines mit wenigstens einem Marker (4) ausgestatteten Objektes, bei dem der wenigstens eine Marker (4) von mindestens zwei Bildaufnehmern (1) bildlich erfasst wird und aus den gewonnenen Bilddaten die Position und/oder Orientierung des Objektes mittels mindestens einer Recheneinheit (2,3) berechnet werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Steuerung des Berechnungs- und/oder Bildaufnahmeprozesses von einer Recheneinheit (2,3) berechnete Informationen an eine andere Recheneinheit (2) bzw. einen Bildaufnehmer (1) zurückgeführt werden.

14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass Ausgangsinformationen zurückgeführt werden.

15. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass von außen eingebrachte, für die Positions- und/oder

Orientierungsbestimmung relevante Informationen zurückgeführt werden.

16. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass aktuell ermittelte Positions- und/oder Orientierungsinformationen zurückgeführt werden.

17. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass auf Grundlage der aktuellen Positions- und/oder Orientierungsinformationen eine Prädiktion zur Berechnung von zu erwartenden Positions- und/oder Orientierungsangaben ausgeführt wird, und dass letztere Informationen zurückgeführt werden.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 17, bei dem reflektierende Marker von einer einem Bildaufnehmer (1) zugeordneten Beleuchtungseinheit (8,9,10) beleuchtet werden, dadurch gekennzeichnet, dass die rückgeführten Informationen zur Steuerung der Beleuchtungseinheit (8,9,10) verwendet werden.

19. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtleistung der Beleuchtungseinheit (8,9,10) gesteuert wird.

20. Verfahren nach Anspruch 18 oder 19, dadurch gekennzeichnet, dass die räumliche Lichtverteilung der Beleuchtungseinheit (8,9,10) gesteuert wird.

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 18 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass zur Steuerung der Beleuchtungseinheit (8,9,10) eine vorgefertigte Look-up-Tabelle verwendet wird.

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 18 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Beleuchtungsstärke derart gesteuert

ert wird, dass die maximale Helligkeit der abgebildeten Marker (4) in der Nähe eines vorgegebenen Wertes, insbesondere bei etwa 80 % der maximal auflösbaren Helligkeit, bleibt.

23. Computerprogramm mit Programm-Code-Mitteln, um alle Schritte eines der Ansprüche 13 bis 22 durchzuführen, wenn das Computerprogramm auf einem Computer oder der mindestens einen Recheneinheit (2,3) ausgeführt wird.

24. Computerprogramm-Produkt mit Programmcode-Mitteln, die auf einen computerlesbaren Datenträger gespeichert sind, um ein Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 22 durchzuführen, wenn das Computerprogramm auf einem Computer oder der mindestens einen Recheneinheit (2,3) ausgeführt wird.

A.R.T. GmbH, Herrsching

418 001 A  
06.10.2000

### Optisches Trackingsystem und -verfahren

#### Zusammenfassung

Bei einem optischen Trackingsystem zur Positions- und/oder Orientierungsbestimmung eines mit wenigstens einem Marker (4) ausgestatteten Objektes mit mindestens zwei Bildaufnehmern (1) zur bildlichen Erfassung des wenigstens einen Markers (4) und mit mindestens einer Recheneinheit (2,3) zur Auswertung der von den Bildaufnehmern (1) erfassten Bilder wird vorgeschlagen, Mittel vorzusehen, über die relevante Informationen, die von einer Recheneinheit (2,3) errechnet wurden, zu einer anderen Recheneinheit (2) und/oder zum Bildaufnehmer (1) zurückzuführen, um den Berechnungsvorgang bzw. die Bildaufnahme zu steuern. Vorteilhaft ist, von einer Prädiktionseinheit (5) berechnete Erwartungswerte zurückzuführen. Hierdurch wird eine schnellere und präzisere Verarbeitung der anfallenden Bilddaten möglich.

(Figur 1)

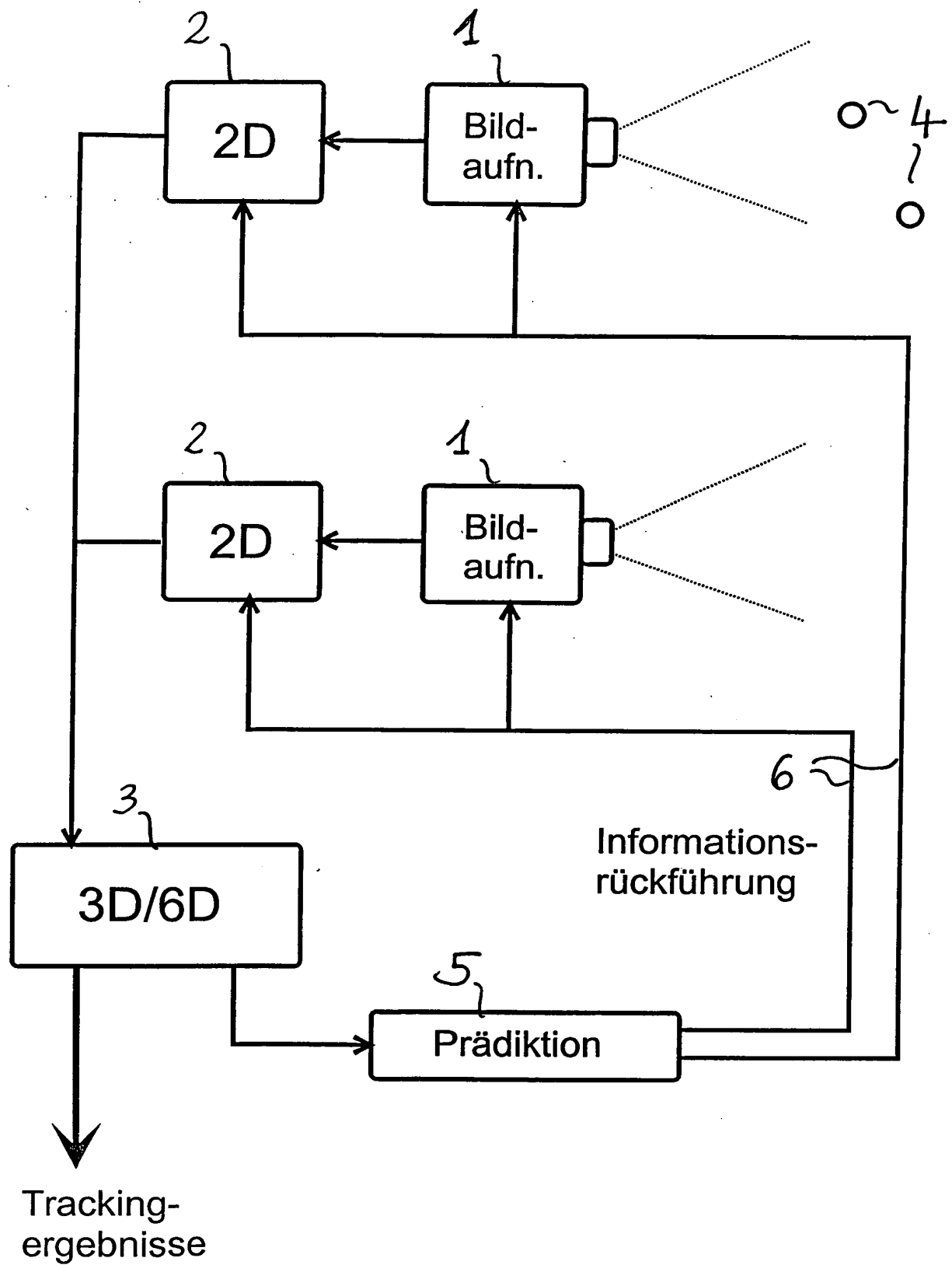


Fig. 1

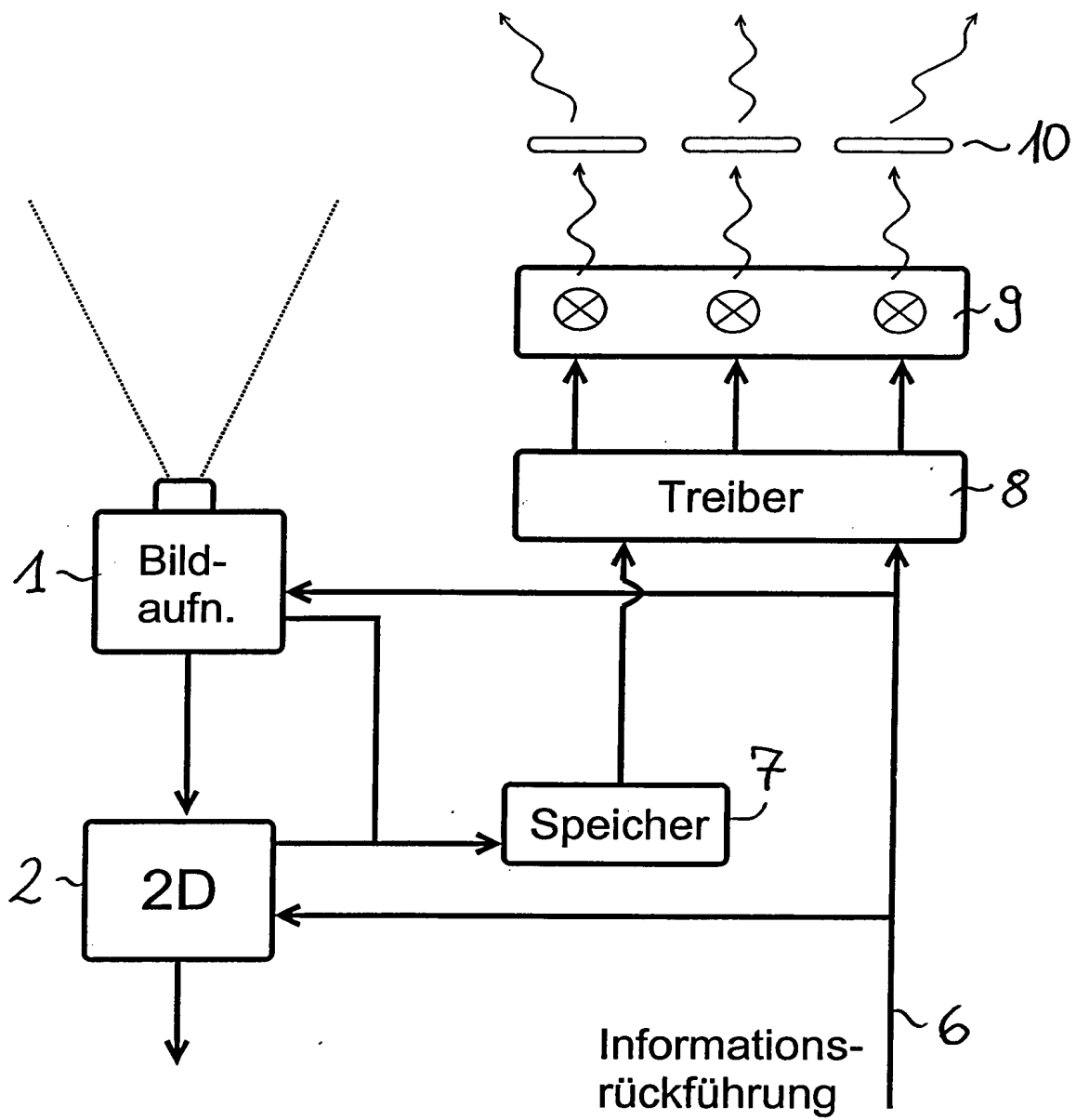


Fig. 2